

**BEST AVAILABLE COPY**

**FRENCH REPUBLIC  
NATIONAL INSTITUTE  
OF INDUSTRIAL PROPERTY  
PARIS**

**11 Publication No.: 2 510 257  
(To be used only for duplication requests.)**

**PATENT APPLICATION**

**No. 81 14317**

**Flow meter for measuring the viscosity characteristics of a liquid.**

**International classification (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 01 N 11/06.**

**Application date July 21, 1981.**

**Priority claimed:**

**Date patent made available to the public B.O.P.I. — <<Listes>> No. 4 of  
January 28, 1983**

**Applicant: CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
(CNRS), a financially independent departmental corporation — FR.**

**Inventors: Pierre Boyer, Robert Favretto, Ly Dang Phuoc, and Alain St. Paul**

**Owner: *idem***

**Authorized Agent: Cabinet Barre-Gatti-Laforgue, 95, rue de Amidonniers,  
31069, Toulouse Cedex**

## **FLOW METER FOR MEASURING THE VISCOSITY CHARACTERISTICS OF A LIQUID**

**The invention concerns a flow meter for measuring the viscosity characteristics of a liquid.**

**Nowadays, a knowledge of the flow characteristics of liquids is essential in many fields, particularly in industry, biomechanics, and medicine, where liquids are subject to variations in concentration, temperature, and pressure, resulting in changes to their flow behavior; it is generally necessary to be able to track the change in their properties in order to predict the behavior and possibly to ensure appropriate control.**

**There are viscometers for which the operating principle is based on measurement of the flow time of a determined volume of the fluid to be studied in a Ubbelohde-type tube, which is well known to experts. The viscosity of a Newtonian liquid can be determined precisely from the flow temperature when the parameters of the capillary tube are known. In the case of non-Newtonian liquids, one must make measurements in tubes of various sizes or under various hydrodynamic conditions to determine the flow (or viscosity) characteristics of a liquid.**

**A viscometer in which the flow temperature in the Ubbelohde tube is measured by photoelectric sensors is described in the British journal *J. Phy. E: Sci. Instrum.*, Vol. 13, 1980; however, the measurements made using this type of apparatus are purely manual and in practice prove to be time consuming and delicate and are sources of error. They are, in fact, earmarked for specialized laboratories.**

**In particular, it is not possible with devices of this type to track at close regular intervals the change in the viscosity of a liquid, for example, in medicine, the viscosity of blood passing through an extra corporal circulation apparatus; this impossibility**

is the result of the time it takes to make the measurements and the difficulty involved in making them and also, in medicine, because of the impossibility of satisfying the requisite sterile conditions.

This invention is proposed to offset the inadequacies of known apparatuses and to provide a novel flow meter capable of offering automatic operation and also capable of being used *in situ* by non-specialized staff.

Another objective of the invention is to enable the execution of measurements without contaminating the liquid studied.

Another objective is to provide a flow meter that is capable of automatically accomplishing cycles of repeated measurements to make it possible to precisely track the change in the flow characteristics of a liquid.

The flow meter, which is the subject of the invention includes a minimum of one primary tube, called the measuring tube, having a calibrated gravity-flow section; a second tube, called the filling tube, connected to the measuring tube; a primary and a secondary detector of the meniscus positions ( $R_1$ ,  $R_2$ ) arranged at two levels with respect to the measuring tube and adapted to provide electrical signals to passings of the meniscus; and devices to measure the time interval between the signals issued by the two detectors. According to this invention, the flow meter is characterized by the fact that it includes, combined in the manner described above:

- ! connected to the filling tube, a line for admission of the liquid studied linked to an electrically actuated shut-off device (A),

- ! connected to the filling tube, a line for the introduction of a flushing liquid linked to an electrically actuated shut-off device (B),

- ! connected to the base of the two tubes, a minimum of one line for the exit of the liquid linked to an electrically actuated shut-off device (E, F),

- ! connected to the base of the measuring tube, a reference-pressure bypass linked to an electrically actuated shut-off device (D),

! connected in the upper part of the measuring tube, a reference-pressure line linked to an electrical shut-off device ( $G_1$ )

! a source of pressure or reduced-pressure connected to the measuring tube and/or the filling tube through at least one electrically actuated shut-off device ( $C$ ,  $G_2$ ) in a manner that both assures a gas flow in the tubes, and, causes, by pressure or reduced pressure, the liquid in the filling tube to rise in the measuring tube.

! a third meniscus-position detector ( $R_3$ ) situated on the measuring tube below the calibrated section (3a),

! a fourth meniscus-position detector ( $R_4$ ) situated on the measuring tube above the upper detector ( $R_1$ ),

! and an electrically actuated assembly designed to receive the signals issued by the meniscus-position detectors and adapted to issue actuating signals to the shut-off devices to assure the progression of the following successive stages: filling stage for liquid to be studied, measurement stage, flushing stage, and drying stage.

As one will understand better below, the flow meter described in this invention is capable of automatically assuring, for each measuring cycle, the progression of successive stages from filling of the liquid to be studied to restoring the apparatus to readiness to execute a new cycle with no external intervention while guaranteeing the sterility of the liquid to be studied, which is brought into contact only with tubes maintained in a state of proper cleanliness.

The electrical-actuation assembly of the flow meter is specially designed to ensure the progression of the previously cited stages by accomplishing the following sequences: admission of the liquid to be studied into the filling tube, rising of this liquid in the measuring tube, gravity-flow measurement in the calibrated section,

exiting of the liquid to be studied with its possible re-injection in the circuit from which it arises, admission of the flushing liquid, rising of this liquid, exit and evacuation of this liquid, and finally, drying by passage of a gas, eliminating traces of the liquid. Sterilization to a degree dependent on the planned application can be assured by the flushing liquid and/or by the drying gas.

In accordance with the preferred realization, which makes possible the progression of these sequences by simple and low-cost means, the electrical-actuation assembly includes electronic circuits ( $M_1$  to  $M_8$ ) arranged in series one behind the other to receive the detection signals coming from the meniscus-position detectors, with said electronic circuits being connected to shut-off assemblies and to time-measuring devices able to deliver actuating signals capable of creating the succession of the previously cited stages by successive cutovers.

Furthermore, the measuring tube can be Ubbelohde-type having the bulbs with which this type of tube is typically equipped.

Moreover, the shut-off devices can be comprised of any appropriate electrically actuated device (device actuated directly or indirectly by an electrical signal, this actuating signal being able to actuate the device through natural non-electrical means); preferably, these devices are comprised of solenoid valves and/or electro-magnetically actuated clamping devices linked to flexible lines.

It should be noted that in the general description of the flow meter provided above the shut-off devices are mentioned independently; it is understood that this description extends to two-way and multiple-way devices (in particular, two-way and multiple-way solenoid valves). Devices that have complementary states in the course of the sequences (open or closed) can be grouped in pairs by planning two-way valves for each group of two devices.

Moreover, the meniscus-position detectors can each be comprised, in a well-known way,

of a photoelectric emitter/receptor assembly, coupled opposite one another on the measuring tube.

In a more elaborated version of a flow meter conforming to the invention several measuring tubes of increasing diameter can be planned; these tubes, linked in parallel to a single filling tube and equipped with a multiple-way solenoid valve make it possible to realize successive cycles with different flows in different tubes.

Thus, these different flows impose different tangential stresses on the liquid and permit a generalization of the flow study to extend to all liquids. If the viscosity in each tube is identical, one is dealing with a Newtonian liquid; if this is not the case, the change in the viscosity reveals a non-Newtonian fluid that one can then model easily; a microprocessor can be designed to convey the behavior of such liquids.

The invention having been disclosed in its general form, other characteristics, objectives, and advantages will be described in the following description relative to the appended figures, which show, as a non-limitative example, a method of realization; in these figures, which are an integral part of the description:

- Figure 1 is a schematic view in perspective showing the exterior of a flow meter that conforms to the invention,
- Figure 2 is a detailed axial cross-section view of a shut-off device of said flow meter,
- Figure 3 is a symbolic diagram illustrating the principle of said flow meter,
- Figure 4 is a synoptic view of the electronic assembly with which the flow meter is equipped,
- Figure 5 is a table illustrating an operating cycle of the flow meter,
- Figures 6a, 6b, and 6c are schematic views showing the liquid levels during the filling and measuring sequences.

The flow meter represented as an example

in perspective in Fig. 1 and in a functional diagram in Fig. 3 includes a frame 1 adapted to support its various devices; to this frame is attached a support 2 that extends vertically and has an Ubbelohde tube of the known type.

This Ubbelohde tube includes a measuring tube 3 having a calibrated capillary section 3a and a filling tube 4 connected to the base of measuring tube 3. In a well-known manner, the measuring tube includes three bulbs 3b, 3c, and 3d staggered along its height (two situated on either side of calibrated section 3a and the other situated above), while the filling tube is equipped with a bulb 4a serving as reservoir.

The Ubbelohde tube is secured to support 2 having appropriate fittings by a sealing cap 15 (which is initialized in Fig. 1). This cap fits on the support and isolates the tube; it includes an aperture 15a allowing one to see the measuring tube at least along its calibrated section 3a. The assembly is preferably thermostatted.

Filling tube 4 is connected at its upper portion to three lines: a line for the admission of the liquid to be studied 5,

a line for arrival of the flushing liquid 6, and a pressure line 7 connected to a compressed-air pump 8, which is housed in the frame 1.

Furthermore, to the base of the portion connecting the measuring tube 3 and the filling tube 4 are connected two exit lines: a line for re-injection of the liquid to be studied 9 and a line for evacuation of the flushing liquid 10.

Moreover, at the level of its bulb 3b the measuring tube 3 has a reference-pressure bypass 11; in the example, this bypass is open to the air, and the reference pressure is atmospheric pressure.

In the upper part, this measuring tube 3 is, moreover, connected to two lines: a reference-pressure line 12 (at atmospheric pressure) and a pressure line 13 connected to a compressed-air pump 14 housed

in frame 1; this pump 14 preferably has a higher power than pump 8. Of course, when necessary they can be used in common.

Each of the lines or the bypass described above 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 is equipped with an electrically actuated shut-off device that allows one to close or open the seal.

Two types of devices are advantageously planned, either devices of the solenoid-valve type, which are housed in the frame, or clamping devices in which the mode of realization will be described below.

The solenoid valves are planned on lines 7, 11, 12, and 13, which are traversed by gases (air) so as to guarantee a perfect leak-tightness for this type of fluid.

In the example, line 7 is equipped with a single-way solenoid valve C, which is normally closed in the rest position; it opens when it receives an electrical-actuation signal. Pump 8 is actuated synchronously to start when this solenoid valve opens and to be interrupted when the valve closes.

Bypass 11 is equipped with a single-way solenoid valve D, which is normally open.

Lines 12 and 13 in the example are equipped with a two-way solenoid valve ( $G_1$ ,  $G_2$ ), which is common to both; in one state ( $G_1$ ) it opens line 12 and closes line 13, and in the complementary state ( $G_2$ ) it accomplishes converse opening and closing. Of course, two single-way solenoid valves could replace this two-way solenoid valve. Pump 14 is actuated in synchronism with this solenoid valve ( $G_1$ ,  $G_2$ ) in order to start when the valve is open to line 13 (the  $G_1$  state) and interrupted in the opposite case (the  $G_2$  state).

Lines 5, 6, 9, and 10, through which liquids flow, are equipped with clamping devices A, B, E, and F, respectively, which accomplish closing by pinching the flexible part of these lines. These devices are fixed in a transverse section on a side of frame 1 and



ffer the advantage of avoiding all contamination of the liquid since it does not come into contact with any external element; moreover, after a series of measurements, particularly in the medical field, it is easy to remove the flexible parts of the lines in order to replace them with sterilized parts.

Figure 2 shows in axial cross section a mode of realization of a clamping device, which in the example is in the normally closed position (rest position when an actuating signal is absent).

This device includes housing 16 in which is housed an electromagnet in which is shown in 17a the coil and in 17b the ferromagnetic core. In front of core 17b there is a flattening punch 18, which flattens the flexible line traversing an appropriate passage 16a of the housing. A screw 19 forming a counter support makes it possible to regulate the dimensions of the passage. At the other end of housing 16, screw 20 serves as a stop that is adjustable by spring 21, which prompts core 17b towards the flattening position. At rest, when the electromagnet is not energized, core 17b flattens, by the intervention of punch 18, the line (by the action of spring 21) and shuts it down; when the electromagnet is energized the core reverses, and pinching of the line is suppressed. It should be noted that core 17b is equipped with a control pin, notably a screw (not visible), projecting through a slot in the housing in order to allow manual control of the core to release passage 16a (introduction of a line or manual opening).

Moreover, the flow meter that is the subject of the invention includes four meniscus-position detectors  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , and  $R_4$ , each comprised of a photoelectric emitter placed against the measuring tube and by a receptor placed opposite and diametrically opposed on the tube (which is obviously made of transparent glass).

Detectors  $R_1$  and  $R_2$  are designed to measure the flow time in the calibrated section. They are situated, respectively, above and below bulb 3c; when the meniscus passes in front of receptor  $R_1$ , the latter generates a time-counting start signal, and when it passes in front of receptor  $R_2$  the latter generates an end-counting signal. The amount of liquid that flows between these times in calibrated section 3a is always the same, regardless of the measurement (equal to the capacity of bulb 3c and portions of the tube extending above and below it up to receptors  $R_1$  and  $R_2$ ).

Detector  $R_3$  is located situated beneath bulb 3b and is used, as will be shown, to interrupt the sequence of liquid admission when the level of the liquid in measuring tube 3 (and therefore also in filling tube 4) reaches the height of this detector  $R_3$ .

Detector  $R_4$  is situated above upper bulb 3d and is used to interrupt the sequence of liquid rising in measuring tube 3.

The flow meter is completed by electronic devices 22 housed in frame 1 and by display device 23, which is visible on the front of this frame.

These electronic devices 22 are arranged to receive the signals issued by detectors  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , and  $R_4$ ; they include devices to measure the time and an assembly of electrically actuated shut-off devices A, B, C, D, E, F,  $G_1$ , and  $G_2$  (and linked pumps 8 and 14); they are equipped with manually controlled devices that will be described below and are grouped in a control panel 24.

A mode of realization of these electronic devices, which is particularly advantageous for its simplicity, is presented in Figure 4, which shows symbolic depictions of the shut-off devices specified above.

The signals issued from detectors  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , and  $R_4$  are delivered to comparators 25, 26, 27, and 28, which compare them with a reference to generate a signal of two states, representing the presence or absence of liquid in the tube. The change in the state of this signal corresponds to passing of the meniscus in front of the detector concerned.

The electronic devices that provide conditions for the progression of the sequences are comprised of a series of electronic circuits  $M_1$  to  $M_8$ , which in the example are all monostable univibrator type monostable time-delay circuits.

Circuit  $M_1$  has a triggering input  $e_1$  that assures the start of a cycle. This input is connected to the start device comprised of a manual three-position diverter switch 29 designed to connect this input:

! either to a manual trigger switch 30 for manual control of the cycles in succession,

! to a timer 31 with a timing duration that is much longer than the duration of a cycle for different actuation of the cycles,

! or to the output ( $s_8$ ) of the last circuit  $M_8$  for automatic actuation of the cycles one immediately after another.

It is then possible, by regulating the position of diverter switch 29, to obtain isolated viscosity measurements on demand or even periodic measurements reproducing themselves automatically at the end of pre-set periods provided automatically during the succeeding cycles.

Circuit  $M_1$  has, in addition, an interruption input  $e'_1$  designed to receive the detection signal coming from detector  $R_3$  (after transformation in diverter switch 27). The output  $s_1$  of this circuit is connected to shut-off device A; this normally closed device is open when the circuit passes into its energized state (triggering by  $e_1$ ) and closes when the circuit returns to rest (interruption by  $e'_1$ ).

The second circuit  $M_2$  has a triggering input  $e_2$  connected to output  $s_1$  of  $M_1$ , an interruption input designed to receive the detection signal originating from the fourth detector  $R_4$ , and an output  $s_2$  connected to shut-off devices C (normally closed) and D (normally open), which it controls, and these remain in complementary states. It should be noted that an OU port 32 is interposed to also make possible control of these devices by circuit  $M_6$  under the same conditions.

The third circuit  $M_3$  has a triggering input  $e_3$  connected to output  $s_2$  of  $M_2$ , an interruption input  $e'_3$  designed to receive the detection signal originating from the second detector  $R_2$  and an output  $s_3$  connected to the measuring devices, in the example to a logical validation input 34 linked to a clock 35.

The fourth circuit  $M_4$  has a triggering input  $e_4$  connected to output  $s_3$  of  $M_3$  and an output  $s_4$  connected to shut-off device E of the line of output 9.

The fifth circuit  $M_5$  has a triggering input  $e_5$  connected to output  $s_4$  of  $M_4$ , an interruption input  $e'_5$  designed to receive the detection signal arising from the third detector  $R_3$  and an output  $s_5$  connected to shut-off device B.

The sixth circuit  $M_6$  has a triggering input  $e_6$  connected to output  $s_5$  of  $M_5$ , an interruption input  $e'_6$  designed to receive the detection signal originating from the fourth detector  $R_4$ , and an output  $s_6$  connected through port 32 to devices C and D.

The seventh circuit  $M_7$  has a triggering input  $e_7$  connected to output  $s_6$  of  $M_6$  and an output  $s_7$  connected through OU [sic] port 33 to shut-off device F linked to line 10.

Finally, the eighth circuit  $M_8$  has a triggering input  $e_8$  connected to the output  $s_7$  of  $M_7$  and an output  $s_8$  connected to shut-off device ( $G_1$   $G_2$ ) and, through port 33, to device F. Moreover, as already indicated, this output is re-looped by diverter switch 29.

The fourth, seventh, and eighth circuits  $M_4$ ,  $M_7$ , and  $M_8$  are all operationally monostable time-delay circuits regulated in such a way that their timing durations are adapted for allowing the complete accomplishment of sequences that they actuate. Circuit  $M_4$ , which actuates the sequence that re-injects the liquid to be studied, has a timing duration, which can be 15 s. to make it possible for all of the liquid to escape through line 9. The same is true for circuit  $M_7$ , which actuates the sequence evacuating the flushing liquid. The timing duration of circuit  $M_8$  depends on the planned application and the cleanliness requirements; it is generally 15 s.

The first, second, third, fifth,

and sixth circuits  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_5$ , and  $M_6$  are also monostable time-delay circuits for increasing the operational security. Their timing durations are regulated at values higher than the normal durations of sequences that they control, respectively, the sequence of admission of the liquid to be studied (normal durations of 10 s.), the sequence of rising of the liquid (normal durations of 10 s.), the measuring sequence (average duration of 100 to 300 s.), the flushing liquid admission sequence (normal duration of 15 s.), and the rising sequence of said liquid (normal duration of 20 s.).

These sequences are normally interrupted by detector  $R_3$ , detector  $R_4$ , by detector  $R_2$  and, again by detector  $R_3$  and by detector  $R_4$ , respectively. When this interruption does not take place in a sequence, for example, because of failure of a detector, the timing of the circuit concerned assures this interruption, thereby avoiding overflows during the admission and rising sequences.

The succession of sequences and the corresponding actuations of the shut-off devices are illustrated in the table of Fig. 5 (the states of the devices are represented by O (open) and F (closed); for the two-way solenoid valve,  $G_1$  symbolizes opening toward the open air line 12 and the closing of the line 13, and  $G_2$  represents the complementary state).

The sequences are the following:

! admission of the liquid to be studied: opening of device A; closing of device A by an actuating signal generated by the detection signal issued by the third meniscus-position detector  $R_3$ ,

! rising of the liquid to be studied; closing of device D: opening of device C connected to pressure source 8; closing of this device C by a control command signal generated by the detection signal issued by the fourth meniscus-position detector  $R_4$ ,

**! measuring sequence: opening of device D: transmission to the measuring device of a start-counting signal and an interrupt-counting signal generated by detection signals issued by the first two meniscus-position detectors  $R_1$ ,  $R_2$ ,**

**! exit of the liquid to be studied: opening of shut-off device E linked to exit line 9,**

**! admission of the rinsing liquid: closing of device E, opening of device B; closing of device B by a control signal generated by the detection signal issue by the third meniscus-position detector  $R_3$ ,**

**! rising of the flushing liquid: closing of device D; opening of device C connected to pressure source 8; closing of this device C by a control signal generated by the detection signal delivered by the fourth meniscus-position detector  $R_4$ ,**

**! exit of the flushing liquid: opening of the shut-off device F linked to exit line 10, opening of device D,**

**! drying: opening of a device  $G_2$  connected to pressure source 14; closing of this device at the end of the sequence.**

In the description above, only the changes in state of the shut-off devices were specified; the non-actuated shut-off devices remain in the state where they are found in the preceding sequence (with re-looping of the drying on the admission of the liquid to be studied).

Figures 6a and 6b are diagrams illustrating the sequences of admission of the liquid to be studied and the rise of this liquid.

Figure 6c illustrates the measuring sequence.

One can imagine the interest in the invention, which permits automatic measurements without manual intervention with display by device 23 of either the flow time in the calibrated section or directly of the viscosity of the

liquid. Let us note that direct-control buttons 36 can be placed on the control panel 24 to actuate the shut-off devices in the event the automatic operation fails. The duration of a cycle is approximately 2.5-6 minutes, which allows, in automatic operation, effective monitoring of the viscosity of a liquid.

The applications of the flow meter that is the subject of the invention are numerous: medical applications, particularly in extra corporal circulation systems; use as a servomechanism sensor in biological (wine, dairy industry) or industrial (paper industry, petroleum industry, etc.) processes.

Of course, the invention is not limited to the terms of the description but includes all variants of it. In particular, the electronic-actuation methods described are the preferential mode of realization but can have different structures (microprocessor, etc.).

## CLAIMS

1) Flow meter for measuring viscosity characteristics of a liquid of a type including a minimum of a primary tube, called the measuring tube (3) having a calibrated gravity-flow section (3a), a second tube, called the filling tube (4), connected to the measuring tube (3), a first and second meniscus-position detector ( $R_1$ ,  $R_2$ ) arranged at two levels opposite the measuring tube (3) and adapted for supplying electrical signals to the passages of the meniscus, and a device to measure the time between the signals issued by the two detectors, and this flow meter is characterized by the fact that it includes:

! connected to the filling tube (4), a line (5) for admission of the liquid to be studied linked to an electrically actuated shut-off device (A),

! connected to the filling tube (4), a line (6) of arrival of a flushing liquid linked to an electrically actuated shut-off device (B),

! connected to the base of two tubes (3, 4), at least one liquid-exit line (9, 10) linked to an electrically actuated shut-off device (E, F),

! connected to the base of the measuring tube (3), a reference-pressure bypass (11) linked to an electrically actuated shut-off device (D),

! connected to the upper part of the measuring tube (3), a reference-pressure line (12) linked to an electrically-actuated shut-off device ( $G_1$ ),

! a source of pressure or reduced pressure (8, 14) connected to the measuring tube (3) and/or filling tube (4) through at least one electrically-actuated shut-off device ( $C$ ,  $G_2$ ) in a manner that both assures gas flow in the tubes and, causes by pressure or reduced pressure, the liquid contained in the filling tube (4) to rise in the measuring tube,

! a third meniscus-position detector ( $R_3$ ) situated on the measuring tube (3) beneath the calibrated section (3a),

! a fourth



meniscus-position detector ( $R_4$ ) above the upper detector ( $R_1$ ),

! and an electrically actuated assembly (22) designed to receive the signals issued by the meniscus-position detectors and adapted to deliver actuating signals to the shut-off devices to assure the successive progression of the following stages: filling with the liquid to be studied, measuring, flushing, and drying.

2) Flow meter as claimed in Claim 1, characterized by the fact that the electrically actuated assembly (22) is adapted to ensure the progression of the previously cited stages by accomplishing the following successive sequences:

! admission of the liquid to be studied: opening of device (A); closing of device (A) by an actuating signal from a detection signal issued by the third meniscus-position detector ( $R_3$ ),

! rising of the investigated liquid; closing of device (D), opening of the device or one of the devices connected to the pressure or reduced-pressure source; closing of this device (C) by an actuating signal generated by a detection signal issued by the fourth meniscus-position detector ( $R_4$ ),

! measurement: opening of device (D); transmission to the measuring device of a start-counting signal and a stop-counting signal generated by detection signals issued by the first two meniscus-position detectors ( $R_1$ ,  $R_2$ ),

! exiting of the liquid to be studied: opening of the shut-off device (E) linked to an exit line (9),

! admission of the flushing liquid: closing of device (E), opening of device (B); closing of device (B) by an actuating signal generated by a detection signal issued by the third meniscus-position detector ( $R_3$ ),

! rising of the flushing liquid:

closing of device (D); opening of device (C) connected to the pressure or reduced-pressure source; closing of this device (C) by an actuating signal generated by a detection signal issued by the fourth meniscus-position detector ( $R_4$ ),

! exiting of the flushing liquid: opening of the shut-off device (F) linked to the output line (10), opening of the device (D),

! drying: opening of a device ( $G_2$ ) connected to the pressure or reduced-pressure source; closing of this device at the end of the sequence.

3) Flow meter as claimed in Claim 1 or 2 characterized by the fact that the electrically actuated assembly includes a series of electronic circuits ( $M_1$  to  $M_8$ ) placed in a series one after another and designed to receive the detection signals originating from meniscus-position detectors, with said circuits being connected to shut-off devices and to time-measuring devices in order to deliver actuating signals capable of creating by successive cutovers the succession of the previously cited stages.

4) Flow meter as claimed in the combination of Claims 2 and 3 characterized by the fact that it includes:

! a primary circuit ( $M_1$ ) having a triggering input ( $e_1$ ) connected to starting cycle devices (29, 30, 31), an interrupt input ( $e'_1$ ) designed to receive the detection signal originating from the third detector ( $R_3$ ) and an output ( $s_1$ ) connected to the shut-off device (A) to actuate this device,

! a second circuit ( $M_2$ ) having one triggering input ( $e_2$ ) connected to output ( $s_1$ ) of the first circuit ( $M_1$ ), an interrupt input ( $e'_2$ ) designed to receive the detection signal originating from the fourth detector ( $R_4$ ) and an output ( $s_2$ ) connected to shut-off devices (C, D) to actuate these devices in such a manner that they retain complementary states.

! a third circuit ( $M_3$ ) having a triggering input ( $e_3$ ) connected to output ( $s_2$ ) of the second circuit ( $M_2$ ), an interrupt input ( $e'_3$ )

designed to receive the detection signal originating from the second detector ( $R_2$ ) and an output ( $s_3$ ) connected to a measuring device to validate or inhibit this measuring device,

! a fourth circuit ( $M_4$ ) of the monostable time-delay type having a triggering input ( $e_4$ ) connected to the output ( $s_3$ ) of the third circuit ( $M_3$ ) and an output ( $s_4$ ) connected to the shut-off device (E) linked to output line (9) in order to actuate this device,

! a fifth circuit ( $M_5$ ) having a triggering input ( $e_5$ ) connected to the output ( $s_4$ ) of the fourth circuit ( $M_4$ ), an interrupt input ( $e'_5$ ) designed to receive the detection signal originating from the third detector ( $R_3$ ), and an output ( $s_5$ ) connected to shut-off device (B) for actuating this device,

! a sixth circuit ( $M_6$ ) having a triggering input ( $e_6$ ) connected to the output ( $s_5$ ) of the fifth circuit ( $M_5$ ), an interrupt input ( $e'_6$ ) designed to receive the detection signal originating from the fourth detector ( $R_4$ ) and an output ( $s_6$ ) connected to shut-off devices (C, D) for actuating these devices so that they retain their complementary states,

! a seventh circuit ( $M_7$ ) of the monostable time-delay type having a triggering input ( $e_7$ ) connected to the output ( $s_6$ ) of the sixth circuit ( $M_6$ ) and an output ( $s_7$ ) connected to the shut-off device (F) linked to output line (10) for actuating this device,

! an eighth circuit ( $M_8$ ) of the monostable time-delay type having a triggering input ( $e_8$ ) connected to the output ( $s_7$ ) of the seventh circuit ( $M_7$ ) and an output ( $s_8$ ) connected to the shut-off device ( $G_2$ ) and the shut-off device (F) for actuating these devices.

5) Flow meter as claimed in Claim 4 characterized by the fact that:

! the fourth ( $M_4$ ), seventh ( $M_7$ ), and eighth ( $M_8$ ) monostable circuits are regulated in such a manner that

their time-delay duration are adapted to make possible the complete realization of the sequences that they actuate, respectively, exit of the liquid to be studied, exit of the flushing liquid, and drying,

! the first ( $M_1$ ), second ( $M_2$ ), third ( $M_3$ ), fifth ( $M_5$ ), and sixth ( $M_6$ ) circuits are also monostable time-delay type circuits in which the time-delay durations are regulated at values higher than the normal durations of the sequences that they actuate, respectively, admission of the liquid to be studied, rising of this liquid, measurement, admission of the flushing liquid, and rising of this liquid.

6) Flow meter as claimed in Claims 4 or 5 characterized by the fact that the device to start a cycle, connected to the triggering input ( $e_1$ ) of the first circuit ( $M_1$ ), includes a three-position manual diverter switch (20) designed to connect this triggering input ( $e_1$ ), either to a manual triggering contactor (30) to achieve stepwise manual actuation of cycles, or to a timer (31) with a time-delay duration that is much longer than the duration of a cycle to achieve different actuation of the cycles, or to the output ( $s_p$ ) of the eighth circuit ( $M_8$ ) to achieve automatic actuation of cycles, one immediately after the other.

7) Flow meter as claimed in Claims 3, 4, 5, or 6 characterized by the fact that it includes two liquid-exit lines, one called the re-injection line (9), designed to be connected to a recovery device and equipped with a shut-off device (E) actuated in a manner appropriate to recover the liquid studied in the course of the exit sequence of this liquid, the other called the evacuation line (10) designed to be connected to an evacuation device and equipped with a shut-off device (F) actuated in a manner appropriate to eliminate the flushing liquid during the sequence when this liquid exits.

8) Flow meter as claimed in Claims 3, 4, 5, 6, or 7 characterized by the fact that the pressure or reduced-pressure source includes:

! a primary compressed-air pump (8)

connected to the filling tube (4) through a shut-off device (C) and actuated synchronously to start when this device is open and interrupted when it is closed during the rising of the liquid to be studied and rising of the flushing liquid sequences,

! a second compressed-air pump (14) connected in the upper part of the measuring tube (3) through a shut-off device ( $G_2$ ) and actuated synchronously to start when this device is open and interrupt when it is closed during the flushing sequence.

9) Flow meter as claimed in the preceding claims in which the measuring tube is a Ubbelohde type tube.

10) Flow meter as claimed in the preceding claims in which shut-off (11) and the reference-pressure bypass (12) are open to the air through their shut-off device (D,  $G_1$ ).

11) Flow meter as claimed in the preceding claims in which the shut-off devices are comprised of solenoid valves and/or clamping devices actuated by an electromagnet and linked to flexible lines.

12) Flow meter as claimed in Claim 11 characterized by the fact that the lines traversed by the liquids (5, 6, 9, 10) are linked to the clamping devices (A, B, E, F), while the lines traversed by the gasses (7, 11, 12, 13) are linked to solenoid valves (C, D,  $G_1$ ,  $G_2$ ).

13) Flow meter as claimed by the preceding claims in which the meniscus-position detectors ( $R_1$  to  $R_4$ ) are each comprised of a photoelectric emitter/receptor assembly coupled opposite one another on the measuring tube (3).

14) Flow meter as claimed in the preceding claims characterized by the fact that it includes several measuring tubes of increasing diameter linked parallel to a single filling tube and equipped with a

multiple-way solenoid valve designed to make possible successive cycles with various measuring tubes.

Fig. 4

Key: [left, descending order]  
 Logique = Logic  
 Horloge = Clock  
 [right]  
 Temporisateur = Timer

Fig. 5

Stages	Sequences	A	B	C	D	E	F	(G,G)	End of Sequence
Liq- uid- filli ng	Admission								Closing of A by $R_3$
	Rising								Closing of C by $R_4$
Measuring	Measuring								End of measuring $R_2$
Flushing	Re- injection								Timed
	Admission								Closing of A by $R_3$
	Rising								Closing of C by $R_4$
	Evacuation								Timed
Drying	Drying								Timed

BEST AVAILABLE COPY

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
—  
PARIS  
—

(11) N° de publication :  
(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 510 257**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 81 14317**

---

(54) Rhéomètre pour la mesure des caractéristiques de viscosité d'un liquide.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 7) G 01 N 11/06.

(22) Date de dépôt ..... 21 juillet 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 4 du 28-1-1983.

---

(71) Déposant : CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS), établissement  
public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. — FR.

(72) Invention de : Pierre Boyer, Robert Favretto, Ly Dang Phuoc et Alain Saint Paul.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Barre-Gatti-Laforgue,  
95, rue des Amidonniers, 31069 Toulouse Cedex.

---

# RHEOMETRE POUR LA MESURE DES CARACTERISTIQUES DE VISCOSITE D'UN LIQUIDE

L'invention concerne un rhéomètre pour la mesure des caractéristiques de viscosité d'un liquide.

On sait que la connaissance des caractéristiques rhéologiques des liquides est actuellement essentielle dans de nombreux domaines, notamment dans les domaines industriel, biomécanique et médical, où les liquides subissent des variations de concentration, de température, de contrainte entraînant un changement de leur comportement rhéologique ; il est généralement nécessaire de pouvoir suivre l'évolution de leurs propriétés de façon à en prévoir le comportement et éventuellement à assurer une régulation appropriée.

On connaît des viscosimètres dont le principe de fonctionnement est basé sur la mesure du temps d'écoulement d'un volume défini du liquide à étudier dans un tube du type Ubbelohde qui est bien connu de l'homme de l'art. Pour un liquide newtonien, la viscosité peut être déterminée avec précision à partir du temps d'écoulement lorsque les paramètres du tube capillaire sont connus. Pour les liquides non newtoniens, il est nécessaire d'effectuer des mesures dans des tubes de différents calibrages ou dans les conditions hydrodynamiques différentes pour déterminer les caractéristiques rhéologiques du liquide (ou caractéristiques de viscosité).

Dans la publication -référence : J. Phys. E : Sci. Instrum., vol 13, 1980 imprimée en Grande-Bretagne- est ainsi décrit un viscosimètre, dans lequel le temps d'écoulement du liquide dans le tube d'Ubbelohde est mesuré au moyen de capteurs photoélectriques ; toutefois, les mesures effectuées au moyen de ce type d'appareils sont purement manuelles, s'avèrent en pratique longues et délicates et sont sources d'erreurs ; elles sont en fait réservées à des laboratoires spécialisés.

En particulier, il n'est pas possible avec ce type d'appareillages de suivre à intervalles réguliers rapprochés, l'évolution de la viscosité d'un liquide, par exemple, dans le domaine médical, la viscosité du sang traversant un appareil de circulation extracorporelle ; cette impos-



sibilité provient essentiellement de la longueur des mesures et des difficultés d'exécution de celles-ci, mais également, dans le domaine évoqué, de l'impossibilité de satisfaire aux conditions de stérilité requises.

La présente invention se propose de pallier les insuffisances des appareillages connus et de fournir un nouveau rhéomètre apte à présenter un fonctionnement automatique et à pouvoir être utilisé in situ par un personnel non spécialisé.

Un autre objectif de l'invention est de permettre une exécution des mesures sans souillure du liquide à étudier.

Un autre objectif est de fournir un rhéomètre capable d'effectuer automatiquement des cycles de mesures répétées de façon à pouvoir suivre de façon précise l'évolution des caractéristiques rhéologiques d'un liquide.

Le rhéomètre visé par l'invention est du type comprenant au moins un premier tube, dit tube de mesure, comportant un tronçon calibré d'écoulement par gravité, un second tube, dit tube de remplissage, communiquant avec le tube de mesure, un premier et un deuxième détecteur de positions de ménisque ( $R_1$ ,  $R_2$ ) agencés à deux niveaux en regard du tube de mesure et adaptés pour fournir des signaux électriques aux passages du ménisque, et des moyens de mesure du temps séparant les signaux délivrés par les deux détecteurs ; selon la présente invention, le rhéomètre est caractérisé en ce qu'il comprend, combinés aux moyens ci-dessus décrits :

. relié au tube de remplissage, un conduit d'admission du liquide à étudier, associé à un organe d'obturation à commande électrique (A),

. relié au tube de remplissage, un conduit d'arrivée d'un liquide de rinçage, associé à un organe d'obturation à commande électrique (B),

. relié à la base des deux tubes, au moins un conduit de sortie de liquide associé à un organe d'obturation à commande électrique (C, F),

. relié à la base du tube de mesure, une dérivation de mise à une pression de référence, associée à un organe d'obturation à commande électrique (D),

3

. relié en partie haute du tube de m sur un conduit de mise à la pression de référence, associé à un organe d'obturation électrique ( $G_1$ ),

5 . une source de pression ou dépression reliée au tube de mesure et/ou tube de remplissage par l' n-  
tremise d'au moins un organe d'obturation à commande électrique  
(C,  $G_2$ ) de façon à permettre, d'une part, d'assurer un écou-  
10 l-ment gazeux dans les tubes, d'autre part, d'amener par pres-  
sion ou dépression le liquide contenu dans le tube de remplis-  
sage à monter dans le tube de mesure,

. un troisième détecteur de position de ménisque ( $R_3$ ), agencé sur le tube de mesure au-dessous du tron-  
çon calibré (3a),

15 . un quatrième détecteur de position d ménisque ( $R_4$ ), agencé sur le tube de mesure au-dessus du dé-  
tecteur supérieur ( $R_1$ ),

. et un ensemble de commande électrique, agencé pour recevoir les signaux délivrés par les détecteurs d  
20 position de ménisque et adapté pour délivrer des signaux de  
commande vers les organes d'obturation en vue d'assurer le  
déroulement des phases successives suivantes : phase de rem-  
plissage de liquide à étudier, phase de mesure, phase de rin-  
çage et phase de séchage.

25 Comme on le comprendra mieux plus loin,  
le rhéomètre conforme à l'invention est apte à assurer auto-  
matiquement pour chaque cycle de mesure, le déroulement de  
phases successives depuis le remplissage du liquide à étudier  
jusqu'à la remise en état de l'appareil prêt pour l'exécution  
30 d'un nouveau cycle et ce, sans intervention extérieure et en  
garantissant la stérilité du liquide à étudier qui n'est mis  
en contact qu'avec des tubes maintenus en état de propreté  
appropriée.

L'ensemble de commande électrique du  
35 rhéomètre est en particulier prévu pour conditionner le dé-  
roulement des phases précitées par l'accomplissement des sé-  
quences successives suivantes : séquence d'admission du liqui-  
d à étudier dans le tube de remplissage, séquence d'ascension  
d ce liquide dans le tube de mesure, séquence de mesure avec  
40 écoulement par gravité du liquide dans le tronçon calibré,

séquence de sortie du liquide à étudier avec réinjection éventuelle de celui-ci dans le circuit dont il provient, séquence d'admission du liquide de rinçage, séquence d'ascension de ce liquide, séquence de sortie et d'évacuation de ce liquide, enfin séquence de séchage par passage d'un gaz éliminant les traces de liquide. La stérilisation à un degré dépendant de l'application envisagée peut être assurée par le liquide de rinçage et/ou par le gaz de séchage.

10 Selon un mode de réalisation préféré permettant d'assurer le déroulement de ces séquences avec des moyens simples et peu onéreux, l'ensemble de commande électrique comprend une série de bascules électroniques ( $M_1$  à  $M_8$ ) placées en série les unes derrière les autres et agencées pour recevoir  
15 les signaux de détection provenant des détecteurs de position de ménisque, lesdites bascules étant reliées aux organes d'obturation et aux moyens de mesure du temps en vue de délivrer des signaux de commande aptes à engendrer par des basculements successifs la succession des phases précitées.

20 Par ailleurs, le tube de mesure peut être un tube de type Ubbelohde comportant les bulbes habituels dont est muni ce type de tube.

De plus, les organes d'obturation peuvent être constitués par tout organe approprié à commande électrique (organe commandé directement ou indirectement par un signal électrique, ce signal de commande pouvant éventuellement actionner l'organe par l'entremise de moyens de nature non électrique); de préférence, ces organes sont constitués d'électrovannes et/ou d'organes de clampage commandés par électro-  
30 aimant et associés à des conduits souples.

Il est à noter que, dans la description générale du rhéomètre donnée plus haut, les organes d'obturation sont évoqués indépendamment; il est bien entendu que cette description s'étend à des organes groupés à deux ou plusieurs, notamment électro-vannes à deux voies ou à plusieurs voies). On peut en particulier grouper deux à deux les organes qui possèdent des états complémentaires au cours des séquences (ouvert ou fermé), en prévoyant des vannes à deux voies pour chaque groupe de deux organes.

40 En outre, les détecteurs de position de ménisque peuvent chacun être constitués, de façon connue en soi,

par un ensemble émetteur/récepteur photoélectrique, complétés en regard sur le tube de mesure.

Dans une version plus élaborée du rhéomètre conforme à l'invention, plusieurs tubes de mesure peuvent être prévus de diamètre croissant ; ces tubes associés en parallèles à un tube de remplissage unique et équipés d'une électrovanne à plusieurs voies permettront de réaliser des cycles successifs avec des débits différents dans les différents tubes.

Ces débits différents imposent ainsi des valeurs différentes des contraintes tangentielles s'exerçant sur le liquide et permettent une généralisation de l'étude rhéologique à tous les liquides. Si la viscosité dans chaque tube est identique, on est en présence d'un liquide newtonien ; dans le cas contraire, l'évolution de la viscosité révèle un fluide non newtonien que l'on peut alors modéliser sans difficulté ; un microprocesseur peut être prévu pour traduire le comportement de tels liquides.

L'invention ayant été exposée dans sa forme générale, d'autres caractéristiques, buts et avantages de celle-ci se dégageront de la description qui suit en regard des dessins annexés, lesquels en présentent, à titre d'exemple non limitatif, un mode de réalisation ; sur ces dessins qui font partie intégrante de la description :

- la figure 1 est une vue schématique en perspective, montrant extérieurement un rhéomètre conforme à l'invention,
- la figure 2 est une vue de détail /, en coupe axiale / /d'obturation / d'un organe/dudit rhéomètre,
- la figure 3 est un schéma symbolique, illustrant le principe dudit rhéomètre,
- la figure 4 est une vue synoptique de l'ensemble électronique dont est équipé le rhéomètre,
- la figure 5 est un tableau illustrant un cycle de fonctionnement du rhéomètre,
- les figures 6a, 6b et 6c sont des vues schématiques montrant les niveaux de liquide au cours des séquences de remplissage et de mesure.

Le rhéomètre représenté à titre d'exem-

ple, en perspective à la figure 1 et en schéma de principe à la figure 3, comprend un bâti 1 adapté pour supporter les divers organes de celui-ci ; sur ce bâti est fixé un support 2 s'étendant verticalement et portant un tube d'Ubbelohde d type connu en soi.

Ce tube d'Ubbelohde comprend un tube de mesure 3 possédant un tronçon capillaire calibré 3a et un tube de remplissage 4 relié à la base du tube de mesure 3. De façon connue en soi, le tube de mesure comprend trois bulbes 3b, 3c, 3d, s'échelonnant sur sa hauteur (deux situés de part et d'autre du tronçon calibré 3a et l'autre situé au-dessus), cependant que le tube de remplissage est muni d'un bulbe 4a servant de capacité.

Le tube d'Ubbelohde est solidarisé au support 2 qui porte des réservations appropriées, par un couvercle de fermeture 15 (qui est amorcé à la figure 1). Ce couvercle s'emboîte sur le support et bloque le tube; il comprend une ouverture 15a permettant d'apercevoir le tube de mesure au moins <sup>le long</sup> de son tronçon calibré 3a. L'ensemble est de préférence thermostaté.

Le tube de remplissage 4 est relié à sa partie supérieure à trois conduits : un conduit d'admission du liquide à étudier 5,

, un conduit d'arrivée du liquide de rinçage 6 et un conduit de pression 7 relié à une pompe à air comprimé 8 qui est logée dans le bâti 1.

De plus, à la base de la partie reliant le tube de mesure 3 <sup>et le tube de remplissage 4</sup> sont branchés deux conduits de sortie : un conduit de réinjection du liquide à étudier 9 et un conduit d'évacuation du liquide de rinçage 10.

Par ailleurs, au niveau de son bulbe 3b, le tube de mesure 3 comporte une dérivation 11 de mise à une pression de référence ; en l'exemple, cette dérivation s'ouvre à l'air libre et la pression de référence est constituée par la pression atmosphérique.

En partie haute, ledit tube de mesure 3 est en outre relié à deux conduits : un conduit 12 de mise à la pression de référence (pression atmosphérique) et un conduit de pression 13 relié à une pompe à air comprimé 14 logée

dans le bâti 1 ; cette pompe 14 possède de préférence une puissance supérieure à la pompe 8. Bien entendu, elles pourraient le cas échéant être communes.

5 Chacun des conduits ou dérivation ci-dessus décrits 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 est équipé d'un organe d'obturation à commande électrique qui permet de le fermer étanchéement ou de l'ouvrir.

Deux types d'organes sont avantageusement prévus, soit des organes du type électrovanne qui sont  
10 logés dans le bâti, soit des organes de clampage dont un mode de réalisation sera décrit plus loin.

Les électrovannes sont prévus sur les conduits 7, 11, 12 et 13 qui sont traversés par des gaz (de  
15 l'air) de façon à garantir pour ce type de fluide une étanchéité parfaite.

En l'exemple, le conduit 7 est muni d'une électrovanne à simple voie C qui est normalement fermée en position de repos ; elle s'ouvre lorsqu'elle reçoit un  
20 signal de commande électrique. La pompe 8 est commandée en synchronisme en vue d'être mise en marche lorsque cette électrovanne s'ouvre et d'être arrêtée lorsque celle-ci se ferme.

La dérivation 11 est munie d'une électrovanne à simple voie D qui est normalement ouverte.  
25

Les conduits 12 et 13 sont en l'exemple équipés d'une électrovanne à deux voies ( $G_1, G_2$ ) qui leur est commune ; dans un état ( $G_1$ ), elle ouvre le conduit 12 et ferme le conduit 13 et dans l'état complémentaire ( $G_2$ ), elle  
30 réalise les ouvertures et fermetures contraires. Bien entendu, cette électrovanne à deux voies pourrait être remplacée par deux électrovannes simple voie. La pompe 14 est commandée en synchronisme avec cette électrovanne ( $G_1, G_2$ ) en vue d'être mise en marche lorsque celle-ci est ouverte vers le conduit  
35 13 (état  $G_1$ ) et arrêtée dans le cas contraire (état  $G_2$ ).

Les conduits 5, 6, 9 et 10 qui sont parcourus par des liquides sont équipés d'organes de clampage respectivement A, B, E, F qui réalisent la fermeture en pinçant une partie souple de ces conduits. Ces organes sont fixés  
40 : en position appropriée sur un face du bâti 1 et présentent l'a

vantage d'éviter toute contamination du liquide puisque celui-ci ne vient en contact avec aucun élément externe ; de plus, après une série de mesure, en particulier dans le domaine médical, il est facile de retirer les parties souples des conduits en vue de les changer par des parties stérilisées.

La figure 2 présente en coupe axiale un mode de réalisation d'un organe de clampage, qui en l'exemple se trouve en position normalement fermé (position de repos en l'absence de signal de commande).

Cet organe comprend un corps 16 dans lequel est logé un électroaimant dont on aperçoit en 17a la bobine et en 17b le noyau ferromagnétique. A l'avant du noyau 17b, est disposé un pointeau d'écrasement 18 qui écrase le conduit souple traversant un passage approprié 16a du corps. Une vis 19 formant contre-appui permet de régler les dimensions de passage. A l'autre extrémité du corps 16, une vis 20 sert de butée réglable à un ressort 21 qui sollicite le noyau 17b vers la position d'écrasement. Au repos, lorsque l'électroaimant n'est pas excité, le noyau 17b écrase, par l'entremise du pointeau 18, le conduit (sous l'action du ressort 21) et l'obture ; lorsque l'électroaimant est excité le noyau recule et le pincement sur le conduit est supprimé. Il est à noter que le noyau 17b est équipé d'un téton de manoeuvre, notamment une vis (non visible), saillant par une boutonnière du corps en vue de permettre de manoeuvrer manuellement le noyau pour dégager le passage 16a (introduction d'un conduit ou manoeuvre manuelle dans le sens de l'ouverture).

Par ailleurs, le rhéomètre conforme à l'invention comprend quatre détecteurs de position de ménisque  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$ , constitués chacun d'un émetteur photoélectrique placé contre le tube de mesure et par un récepteur placé en regard en position diamétralement opposé sur le tube (qui évidemment est réalisé en verre transparent).

Les détecteurs  $R_1$  et  $R_2$  sont destinés à la mesure du temps d'écoulement dans le tronçon calibré. Ils sont situés respectivement au-dessus et au-dessous du bulbe 3c ; lorsque le ménisque passe devant le récepteur  $R_1$ , ce dernier génère un signal de début de comptage du temps  $t$  lorsqu'il passe devant le récepteur  $R_2$ , ce dernier génère un signal de fin de comptage. La quantité de liquide qui s'est écoulée entre ces instants dans le tronçon calibré 3a est toujours la même, quelle soit la mesure (égal à la capacité du bulbe 3c et des portions de tube situées au-dessus et au-dessous de celui-ci jusqu'aux récepteurs  $R_1$  et  $R_2$ ).

Le détecteur  $R_3$  est disposé au-dessus du bulbe 3b et sert, comme on le verra, à arrêter la séquence d'admission de liquide lorsque le niveau de celui-ci parvient dans le tube de mesure 3 (et donc également dans le tube de remplissage 4) à la hauteur de ce détecteur  $R_3$ .

Le détecteur  $R_4$  est disposé au-dessus du bulbe supérieur 3d et sert à arrêter la séquence d'ascension du liquide dans le tube de mesure 3.

Le rhéomètre est complété par des moyens électroniques 22 logés dans le bâti 1 et par des moyens d'affichage 23 qui sont visibles sur la face avant dudit bâti.

Ces moyens électroniques 22 sont agencés pour recevoir les signaux issus des détecteurs  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$ ; ils comprennent des moyens de mesure du temps et un ensemble de commande électrique des organes d'obturation A, B, C, D, E, F,  $G_1$ ,  $G_2$  (et des pompes 8 et 14 associées); ils sont dotés d'organes de commande manuelle qui seront évoqués plus loin et qui sont regroupés sur un tableau 24.

Un mode de réalisation de ces moyens électroniques, particulièrement avantageux par sa simplicité, est représenté à la figure 4 où on retrouve symbolisés les organes d'obturation ci-dessus évoqués.

Les signaux issus des détecteurs  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  sont délivrés vers des comparateurs 25, 26, 27 et 28 qui les comparent à une référence pour générer un signal à deux états, représentatifs de la présence ou de l'absence de liquide dans le tube, le changement d'état de ce signal correspondant au passage du ménisque devant le détecteur concerné.

Les moyens électroniques qui conditionnent le déroulement des séquences sont constitués par une série de bascules électroniques  $M_1$  à  $M_8$ , qui en l'exemple sont toutes des monostables temporisées du type univibrateur monostable.

La bascule  $M_1$  possède une entrée de déclenchement  $e_1$  qui assure la mise en route du cycle. Cette entrée est reliée à des moyens de mise en route, comprenant un commutateur manuel à trois positions 29, agencé pour recevoir cette entrée :



10

. soit sur un contacteur manuel de déclenchement 30 en vue d'une commande manuelle des cycles au coup-paracoup,

5 . soit sur un temporisateur 31, de durée de temporisation très supérieure à la durée d'un cycle  $n$  en vue d'une commande différée des cycles,

10 . soit sur la sortie ( $s_8$ ) de la dernière bascule  $M_8$  en vue d'une commande automatique des cycles immédiatement les uns après les autres.

Il est donc ainsi possible, en réglant la position du commutateur 29 de disposer de mesures de viscosité isolées à la demande, ou bien de disposer de mesures périodiques se reproduisant automatiquement au terme de périodes préajustées ou encore de disposer de mesures très rapprochées, fournies automatiquement au cours de cycles qui se succèdent.

La bascule  $M_1$  possède en outre une entrée d'arrêt  $e'_1$  agencée pour recevoir le signal de détection  $n$  20 provenance du détecteur  $R_3$  (après mise en forme dans le comparateur 27). La sortie  $s_1$  de cette bascule est reliée à l'organe d'obturation A ; cet organe normalement fermé est ouvert lorsque la bascule passe dans son état excité (déclenchement par  $e_1$ ) et se referme lorsque la bascule revient au 25 repos (arrêt par  $e'_1$ ).

La deuxième bascule  $M_2$  possède une entrée de déclenchement  $e_2$  connectée à la sortie  $s_1$  de  $M_1$ , une entrée d'arrêt agencée pour recevoir le signal de détection en provenance du quatrième détecteur  $R_4$  et une sortie 30  $s_2$  reliée aux organes d'obturation C (normalement fermé) et D (normalement ouvert) qu'elle commande, ceux-ci demeurant dans des états complémentaires. Il est à noter qu'une porte OU 32 est interposée de façon à permettre également la commande de ces organes dans les mêmes conditions par la bascule  $M_6$ .

35 La troisième bascule  $M_3$  possède une entrée de déclenchement  $e_3$  connectée à la sortie  $s_2$  de  $M_2$ , une entrée d'arrêt  $e'_3$  agencée pour recevoir le signal de détection en provenance du deuxième détecteur  $R_2$  et une sortie  $s_3$  reliée aux moyens de mesure, en l'exemple à une 40 entrée de validation d'une logique 34 associée à une horloge 35.

## 11

La quatrième bascule  $M_4$  possède un entrée de déclenchement  $e_4$  connectée à la sortie  $s_3$  de  $M_3$  et une sortie  $s_4$  reliée à l'organe d'obturation E du conduit de sortie 9.

La cinquième bascule  $M_5$  possède une entrée de déclenchement  $e_5$  connectée à la sortie  $s_4$  de  $M_4$ , une entrée d'arrêt  $a_5$  agencée pour recevoir le signal de détection en provenance du troisième détecteur  $R_3$  et une sortie  $s_5$  reliée à l'organe d'obturation B.

La sixième bascule  $M_6$  possède une entrée de déclenchement  $e_6$  connectée à la sortie  $s_5$  de  $M_5$ , une entrée d'arrêt  $a_6$  agencée pour recevoir le signal de détection en provenance du quatrième détecteur  $R_4$  et une sortie  $s_6$  reliée par l'entremise de la porte 32 aux organes C et D.

La septième bascule  $M_7$  possède une entrée de déclenchement  $e_7$  connectée à la sortie  $s_6$  de  $M_6$  et une sortie  $s_7$  reliée par l'entremise d'une porte OU 33 à l'organe d'obturation F associé au conduit 10.

Enfin, la huitième bascule  $M_8$  possède une entrée de déclenchement  $e_8$  connectée à la sortie  $s_7$  de  $M_7$  et une sortie  $s_8$  reliée à l'organe d'obturation ( $G_1$   $G_2$ ) et, par l'entremise de la porte 33, à l'organe F. De plus, comme déjà indiqué, cette sortie est rebouclé sur le commutateur 29.

Les quatrième, septième et huitième <sup>bascules</sup> bascules  $M_4$ ,  $M_7$  et  $M_8$  sont, de par leur fonction même, des monostables temporisées, réglées de façon que leurs durées de temporisation soient adaptées pour permettre l'accomplissement complet des séquences qu'elles commandent. La bascule  $M_4$  qui commande la séquence de réinjection du liquide à étudier possède ainsi une durée de temporisation qui peut être de l'ordre de 15 s. pour permettre à tout le liquide de s'échapper par le conduit 9. Il en est de même pour la bascule  $M_7$  qui commande la séquence d'évacuation du liquide de rinçage. La durée de temporisation de la bascule  $M_8$  dépend de l'application envisagée et des exigences de propreté demandées ; elle est généralement de l'ordre de 15 s.

Les première, deuxième, troisième, cin-

quième et sixième bascules  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_5$ ,  $M_6$  sont également des bascules monostables temporisées afin d'accroître la sécurité de fonctionnement. Leurs durées de temporisation sont  
 5 réglées à des valeurs supérieures aux durées normales des séquences qu'elles commandent, respectivement séquence d'admission de liquide à étudier (durée normale de l'ordre de 10 s.), séquence d'ascension dudit liquide (durée normale de l'ordre  
 10 de 10 s.), séquence de mesure (durée moyenne de l'ordre de 100 s. à 300 s.), séquence d'admission du liquide de rinçage (durée normale de l'ordre de 15 s.), séquence d'ascension dudit liquide (durée normale de l'ordre de 20 s.).

Ces séquences sont normalement interrompues respectivement par le détecteur  $R_3$ , par le détecteur  $R_4$ ,  
 15 par le détecteur  $R_2$  et, à nouveau, par le détecteur  $R_3$  et par le détecteur  $R_4$ . Dans le cas où cette interruption n'interviendrait pas dans une séquence, par exemple en raison d'une défaillance d'un détecteur, la temporisation de la bascule concernée assure cet arrêt évitant ainsi des débordements  
 20 pendant les séquences d'admission et d'ascension.

La succession des séquences et les commandes correspondantes des organes d'obturation sont illustrées par le tableau de la figure 5 (les états des organes sont représentés par O : ouvert ou F : fermé ; pour l'électrovanne à 2 voies,  $G_1$  symbolise l'ouverture vers le conduit  
 25 à l'air libre 12 et la fermeture du conduit 13 et  $G_2$  l'état complémentaire).

Les séquences successives sont les suivantes :

30 . séquence d'admission de liquide à étudier : ouverture de l'organe A ; fermeture de l'organe A par un signal de commande généré à partir du signal de détection délivré par le troisième détecteur de position de ménisque  $R_3$ .

35 . séquence d'ascension du liquide à étudier : fermeture de l'organe D, ouverture de l'organe C relié à la source de pression 8 ; fermeture de cet organe C par un signal de commande généré à partir du signal de détection délivré par le quatrième détecteur de position  
 40 de ménisque  $R_4$ .

- . séquence de mesure : ouverture d  
l'organe D ; transmission aux moyens de mesure d'un signal  
de départ de comptage et d'un signal d'arrêt de comptag  
5 générées à partir des signaux de détection délivrés par les  
deux premiers détecteurs de position de ménisque  $R_1$ ,  $R_2$ ,  
. séquence de sortie du liquide à étu-  
dier : ouverture de l'organe d'obturation E associé au con-  
duit de sortie 9,  
10 . séquence d'admission de liquide de  
rinçage : fermeture de l'organe E, ouverture de l'organe B ;  
fermeture de l'organe B par un signal de commande généré à  
partir du signal de détection délivré par le troisième détec-  
teur de position de ménisque  $R_3$ ,  
15 . séquence d'ascension du liquide d  
rinçage : fermeture de l'organe D ; ouverture de l'organ C  
relié à la source de pression 8 ; fermeture  
de cet organe C par un signal de commande généré à partir du  
signal de détection délivré par le quatrième détecteur de  
20 position de ménisque  $R_4$ ,  
. séquence de sortie du liquide de rin-  
çage : ouverture de l'organe d'obturation F associé au con-  
duit de sortie 10, ouverture de l'organe D,  
. séquence de séchage : ouverture d'un  
25 organe  $G_2$  relié à la source de pression 14 ; fer-  
meture de cet organe en fin de séquence.  
Dans la description ci-dessus, on n'a  
évoqué que les changements d'état des organes d'obturation,  
les organes non actionnés restant dans l'état où ils s' trou-  
30 vaient à la séquence précédente (avec rebouclage du séchage  
sur l'admission de liquide à étudier).  
Les figures 6a et 6b sont des schémas  
illustrant les séquences d'admission de liquide à étudier  
et d'ascension de ce liquide.  
35 La figur 6c illustre la séquence de  
mesure.

On conçoit l'intérêt de l'invention qui  
permet des mesures automatiques sans intervention manuelle  
avec affichage sur les moyens 23 soit du temps d'écoulement  
40 dans le tronçon calibré, soit directement de la viscosité du

liquide. Notons que des boutons de commande directe 36 peuvent être prévus sur le tableau de commande 24 pour permettre d'actionner les organes d'obturation en cas de panne de l'automatisme. La durée d'un cycle est de l'ordre de 2 minutes 5  
5 demi à six minutes environ, ce qui autorise, en fonctionnement automatique, un suivi efficace de la viscosité d'un liquide.

Les applications du rhéomètre conforme  
10 à l'invention sont nombreuses : applications médicales, en particulier dans les systèmes de circulation extra-corporelles, utilisation comme capteur d'asservissement dans des processus biologiques (oenologie, secteur laitier) ou industriels (industries du papier, secteur pétrolier...).

15 Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux termes de la description mais en comprend toutes les variantes. En particulier, les moyens électroniques de commande décrits constituent un mode de réalisation préférentiel, mais peuvent être de structure différente (micro-  
20 processeur...).

## REVENDICATIONS

- 1/ - Rhéomètre pour la mesure des caractéristiques de viscosité d'un liquide, du type comprenant
- 5 au moins un premier tube, dit tube de mesure (3), comportant un tronçon calibré d'écoulement par gravité (3a), un second tube, dit tube de remplissage (4), communiquant avec le tube de mesure (3), un premier et un deuxième détecteur de positions de ménisque ( $R_1$ ,  $R_2$ ) agencés à deux niveaux en regard du tube de mesure (3) et adaptés pour fournir des signaux électriques aux passages du ménisque, et des moyens de
- 10 mesure du temps séparant les signaux délivrés par les deux détecteurs, ledit rhéomètre étant caractérisé en ce qu'il comprend :
- 15 . relié au tube de remplissage (4), un conduit (5) d'admission du liquide à étudier, associé à un organe d'obturation à commande électrique (A),
- . relié au tube de remplissage (4), un conduit (6) d'arrivée d'un liquide de rinçage, associé à un
- 20 organe d'obturation à commande électrique (B),
- . relié à la base des deux tubes (3, 4), au moins un conduit (9, 10) de sortie de liquide associé à un organe d'obturation à commande électrique (E, F),
- . reliée à la base du tube de mesure (3),
- 25 une dérivation (11) de mise à une pression de référence, associée à un organe d'obturation à commande électrique (D),
- . relié en partie haute du tube de mesure (3) un conduit (12) de mise à la pression de référence, associé à un organe d'obturation électrique ( $G_1$ ),
- 30 . une source de pression ou dépression (8, 14) reliée au tube de mesure (3) et/ou tube de remplissage (4) par l'entremise d'au moins un organe d'obturation à commande électrique ( $C$ ,  $G_2$ ) de façon à permettre, d'une part, d'assurer un écoulement gazeux dans les tubes, d'autre part,
- 35 d'amener par pression ou d'aspiration le liquide contenu dans le tube de remplissage (4) à monter dans le tube de mesure,
- . un troisième détecteur de position de ménisque ( $R_3$ ), agencé sur le tube de mesure (3) au-dessous du tronçon calibré (3a),
- 40 . un quatrième détecteur de position de

ménisque ( $R_4$ ), agencé sur le tube de mesure (3) au-dessus du détecteur supérieur ( $R_1$ ),

5 et un ensemble de commande électrique (22), agencé pour recevoir les signaux délivrés par les détecteurs de position de ménisque et adapté pour délivrer des signaux de commande vers les organes d'obturation en vue d'assurer le déroulement des phases successives suivantes : phase de remplissage de liquide à étudier, phase de mesure, phase de rinçage et phase de séchage.

10 2/ - Rhéomètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'ensemble de commande électrique (22) est adapté pour conditionner le déroulement des phases précitées par l'accomplissement des séquences successives suivantes :

15 . séquence d'admission de liquide à étudier : ouverture de l'organe (A) ; fermeture de l'organe (A) par un signal de commande généré à partir du signal de détection délivré par le troisième détecteur de position de ménisque ( $R_3$ ),

20 . séquence d'ascension du liquide à étudier : fermeture de l'organe (D), ouverture du ou d'un des organes (C) reliés à la source de pression ou dépression ; fermeture de cet organe (C) par un signal de commande généré à partir du signal de détection délivré par le quatrième détecteur de position de ménisque ( $R_4$ ),

25 . séquence de mesure : ouverture de l'organe (D) ; transmission aux moyens de mesure d'un signal de départ de comptage et d'un signal d'arrêt de comptage générées à partir des signaux de détection délivrés par les deux premiers détecteurs de position de ménisque ( $R_1$ ,  $R_2$ ),

30 . séquence de sortie du liquide à étudier : ouverture de l'organe d'obturation (E) associé à un conduit de sortie (9),

35 . séquence d'admission de liquide de rinçage : fermeture de l'organe (E), ouverture de l'organe (B) ; fermeture de l'organe (B) par un signal de commande généré à partir du signal de détection délivré par le troisième détecteur de position de ménisque ( $R_3$ ),

40 . séquence d'ascension du liquide de

rinçage : fermeture de l'organe (D) ; ouverture d'un organe (C) relié à la source de pression ou de dépression ; fermeture de cet organe (C) par un signal de commande généré à partir du signal de détection délivré par le quatrième détecteur de position de ménisque ( $R_4$ ),

. séquence de sortie du liquide d rinçage : ouverture de l'organe d'obturation (F) associé au conduit de sortie (10), ouverture de l'organe (D),

10 . séquence de séchage : ouverture d'un organe ( $G_2$ ) relié à la source de pression ou dépression ; fermeture de cet organe en fin de séquence.

3/ - Rhéomètre selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'ensemble de commande électrique comprend une série de bascules électroniques ( $M_1$  à  $M_8$ ) placées en série les unes derrière les autres et agencées pour recevoir les signaux de détection provenant des détecteurs de position de ménisque, lesdites bascules étant reliées aux organes d'obturation et aux moyens de mesure du temps en vue de délivrer des signaux de commande aptes à engendrer par des basculements successifs la succession des phases précitées.

4/ - Rhéomètre selon les revendications 2 et 3 prises ensemble, caractérisé en ce qu'il comprend :

25 . une première bascule ( $M_1$ ) ayant une entrée de déclenchement ( $e_1$ ) reliée à des moyens de mise en route d'un cycle (29, 30, 31), une entrée d'arrêt ( $e'_1$ ) agencée pour recevoir le signal de détection en provenance du troisième détecteur ( $R_3$ ) et une sortie ( $s_1$ ) reliée à l'organe d'obturation (A) en vue de commander cet organe,

30 . une deuxième bascule ( $M_2$ ) ayant une entrée de déclenchement ( $e_2$ ) connectée à la sortie ( $s_1$ ) de la première bascule ( $M_1$ ), une entrée d'arrêt ( $e'_2$ ) agencée pour recevoir le signal de détection en provenance du quatrième détecteur ( $R_4$ ) et une sortie ( $s_2$ ) reliée aux organes d'obturation (C, D) en vue de commander ces organes, de façon que ceux-ci conservent des états complémentaires,

35 . une troisième bascule ( $M_3$ ), ayant une entrée de déclenchement ( $e_3$ ) connectée à la sortie ( $s_2$ ) de la deuxième bascule ( $M_2$ ), une entrée d'arrêt ( $e'_3$ )

40



agencée pour recevoir le signal de détection en provenance du deuxième détecteur ( $R_2$ ) et une sortie ( $s_3$ ) reliée aux moyens de mesure en vue de valider ou d'inhiber lesdits

5. moyens de mesure,

. une quatrième bascule ( $M_4$ ), du type monostable temporisée, ayant une entrée de déclenchement ( $e_4$ ) connectée à la sortie ( $s_3$ ) de la troisième bascule ( $M_3$ ) et une sortie ( $s_4$ ) reliée à l'organe d'obturation (E) associé au conduit de sortie (9), en vue de commander cet organe,

. une cinquième bascule ( $M_5$ ), ayant une entrée de déclenchement ( $e_5$ ) connectée à la sortie ( $s_4$ ) de la quatrième bascule ( $M_4$ ), une entrée d'arrêt ( $e'_5$ ) agencée pour recevoir le signal de détection en provenance du troisième détecteur ( $R_3$ ) et une sortie ( $s_5$ ) reliée à l'organe d'obturation (B), en vue de commander cet organe,

. une sixième bascule ( $M_6$ ), ayant une entrée de déclenchement ( $e_6$ ) connectée à la sortie ( $s_5$ ) de la cinquième bascule ( $M_5$ ), une entrée d'arrêt ( $e'_6$ ) agencée pour recevoir le signal de détection en provenance du quatrième détecteur ( $R_4$ ) et une sortie ( $s_6$ ) reliée aux organes d'obturation (C, D) en vue de commander ces organes, de façon que ceux-ci conservent des états complémentaires,

. une septième bascule ( $M_7$ ), du type monostable temporisée, ayant une entrée de déclenchement ( $e_7$ ) connectée à la sortie ( $s_6$ ) de la sixième bascule ( $M_6$ ) et une sortie ( $s_7$ ) reliée à l'organe d'obturation (F) associé au conduit de sortie (10), en vue de commander cet organe,

. une huitième bascule ( $M_8$ ), du type monostable temporisée, ayant une entrée de déclenchement ( $e_8$ ) connectée à la sortie ( $s_7$ ) de la septième bascule ( $M_7$ ) et une sortie ( $s_8$ ) reliée à l'organe d'obturation ( $G_2$ ) et à l'organe d'obturation (F) en vue de commander ces organes.

5/ - Rhéomètre selon la revendication 4, caractérisé en ce que :

. les quatrième ( $M_4$ ), septième ( $M_7$ ) et huitième ( $M_8$ ) bascules monostables sont réglées de façon que

leurs durées de temporisation soient adaptées pour permettre l'accomplissement complet des séquences qu'elles commandent, respectivement sortie du liquide à étudier, sortie du liquide de rinçage et séchage,

les première ( $M_1$ ), deuxième ( $M_2$ ), troisième ( $M_3$ ), cinquième ( $M_5$ ) et sixième ( $M_6$ ) bascules sont également des bascules du type monostable temporisées, dont les durées de temporisation sont réglées à des valeurs supérieures aux durées normales des séquences qu'elles commandent, respectivement admission de liquide à étudier, ascension dudit liquide, mesure, admission de liquide de rinçage et ascension dudit liquide.

6/ - Rhéomètre selon l'une des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce que les moyens de mise en route d'un cycle, reliés à l'entrée de déclenchement ( $e_1$ ) de la première bascule ( $M_1$ ), comprennent un commutateur manuel à trois positions (20), agencé pour relier cette entrée de déclenchement ( $e_1$ ), soit sur un contacteur manuel de déclenchement (30) en vue d'une commande manuelle des cycles au coup-par-coup, soit sur un temporisateur (31), de durée de temporisation très supérieure à la durée d'un cycle, en vue d'une commande différée des cycles, soit sur la sortie ( $s_8$ ) de la huitième bascule ( $M_8$ ) en vue d'une commande automatique des cycles immédiatement les uns après les autres.

7/ - Rhéomètre selon l'une des revendications 3, 4, 5 ou 6, caractérisé en ce qu'il comprend deux conduits de sortie de liquide, l'un dit conduit de réinjection (9), destiné à être branché sur des moyens de récupération et équipé d'un organe d'obturation (E) commandé de façon appropriée pour récupérer le liquide à étudier au cours de la séquence de sortie dudit liquide, l'autre dit conduit d'évacuation (10), destiné à être branché sur des moyens d'évacuation et équipé d'un organe d'obturation (F) commandé de façon appropriée pour alimenter le liquide de rinçage au cours de la séquence de sortie dudit liquide.

8/ - Rhéomètre selon l'une des revendications 3, 4, 5, 6 ou 7, caractérisé en ce que la source de pression ou d'aspiration comprend :

un première pompe à air comprimé (8),

reliée au tube de remplissage (4) par l'entremise d'un organe d'obturation (C) et commandé en synchronisme en vue d'être mise en marche lorsque cet organe est ouvert, et arrêtée lorsqu'il est fermé, au cours des séquences d'ascension du liquide à étudier et d'ascension du liquide de rinçage,

5 une seconde pompe à air comprimé (14), reliée en partie haute du tube de mesure (3) par l'entremise d'un organe d'obturation ( $G_2$ ) et commandée en synchronisme en vue d'être mise en marche lorsque cet organe est ouvert, et arrêtée lorsqu'il est fermé, au cours de la séquence d'rinçage.

9/ - Rhéomètre selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le tube de mesure est un tube de type Ubbelohde.

10/ - Rhéomètre selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la dérivation (11) et le conduit (12) de mise à la pression de référence sont ouverts à l'air libre par l'entremise de leur organe d'obturation ( $D$ ,  $G_1$ ).

11/ - Rhéomètre selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les organes d'obturation sont constitués par des électrovannes et/ou par des organes de clampage commandés par électroaimant et associés à des conduits souples.

12/ - Rhéomètre selon la revendication 11, caractérisé en ce que les conduits traversés par des liquides (5, 6, 9, 10) sont associés à des organes de clampage (A, B, E, F), cependant que les conduits traversés par des gaz (7, 11, 12, 13) sont associés à des électrovannes (C, D,  $G_1$ ,  $G_2$ ).

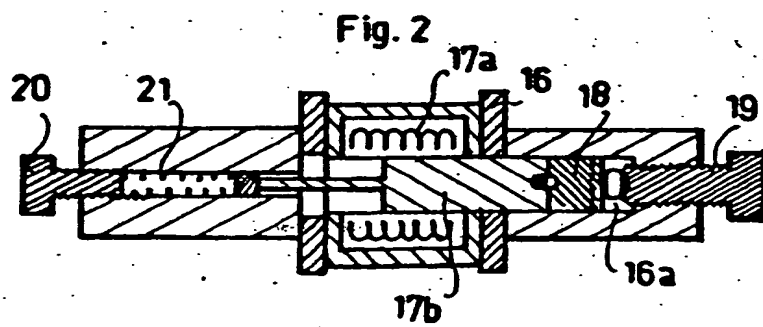
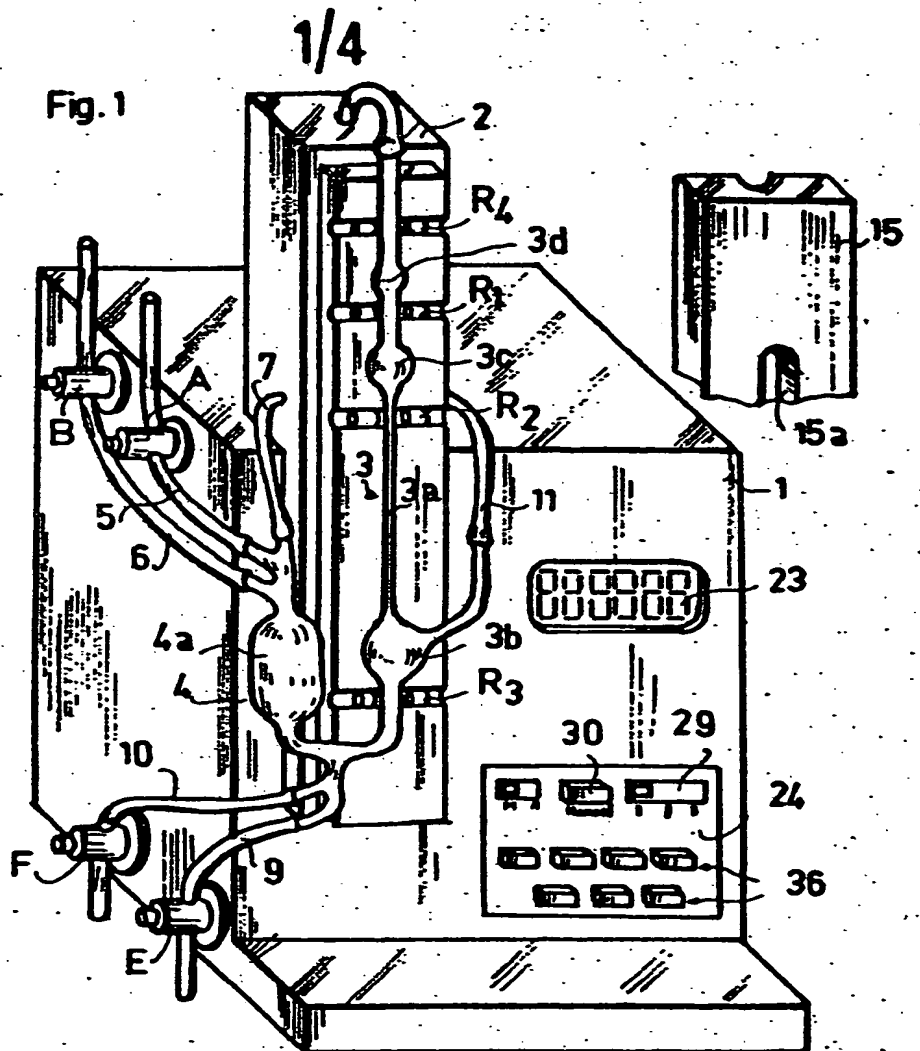
13/ - Rhéomètre selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les détecteurs de position de ménisque ( $R_1$  à  $R_4$ ) sont chacun constitués par un ensemble émetteur/récepteur photoélectriques, couplés en regard sur le tube de mesure (3).

14/ - Rhéomètre selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend plusieurs tubes de mesure de diamètre croissant, associés en parallèles à un tube de remplissage unique équipé d'une

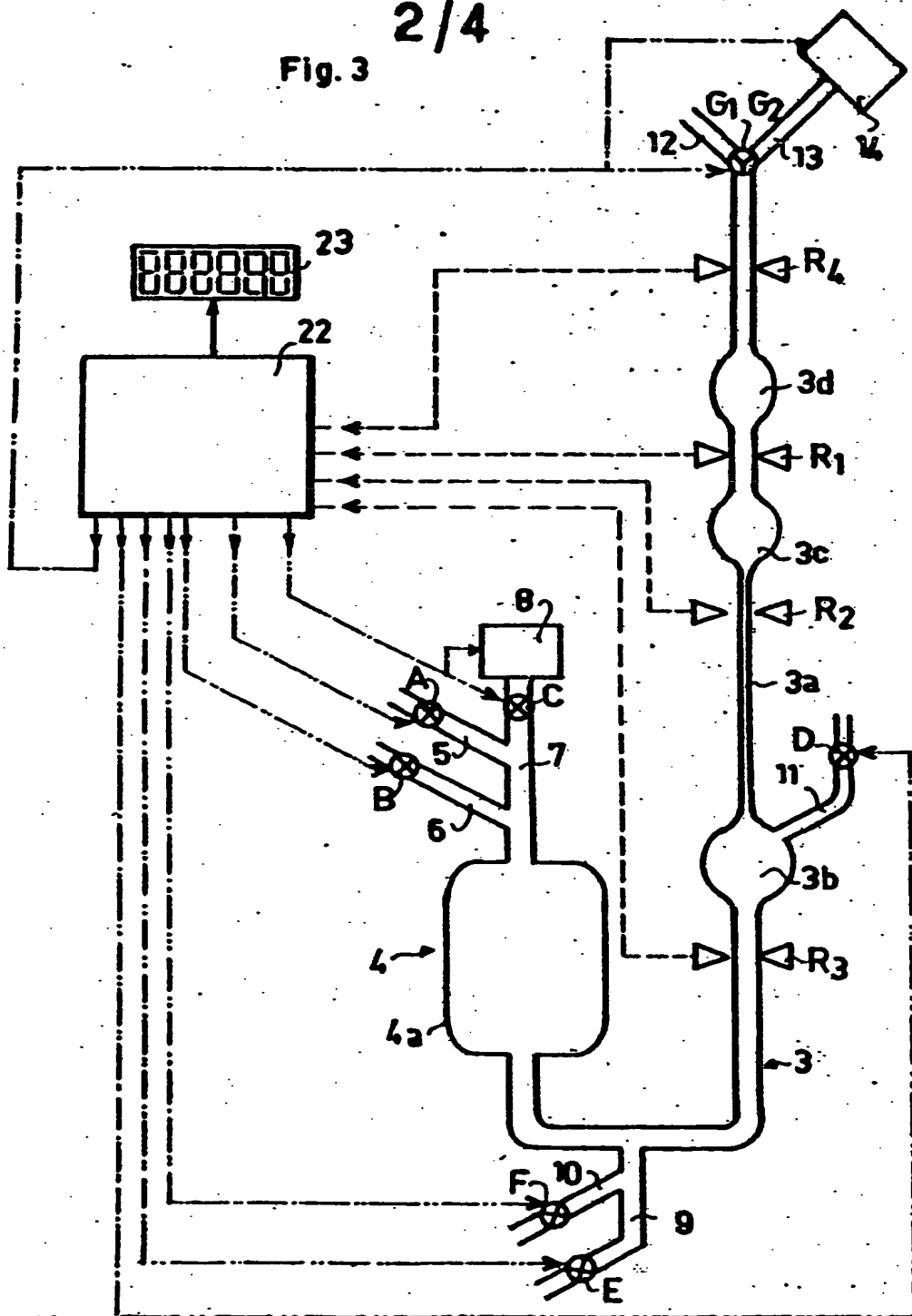
2510257

21

électrovanne à plusieurs voies, agencée pour permettre d  
réaliser des cycles successifs avec des tubes de mesur dif-  
férents.



**Fig. 3**



3/4

Fig. 4

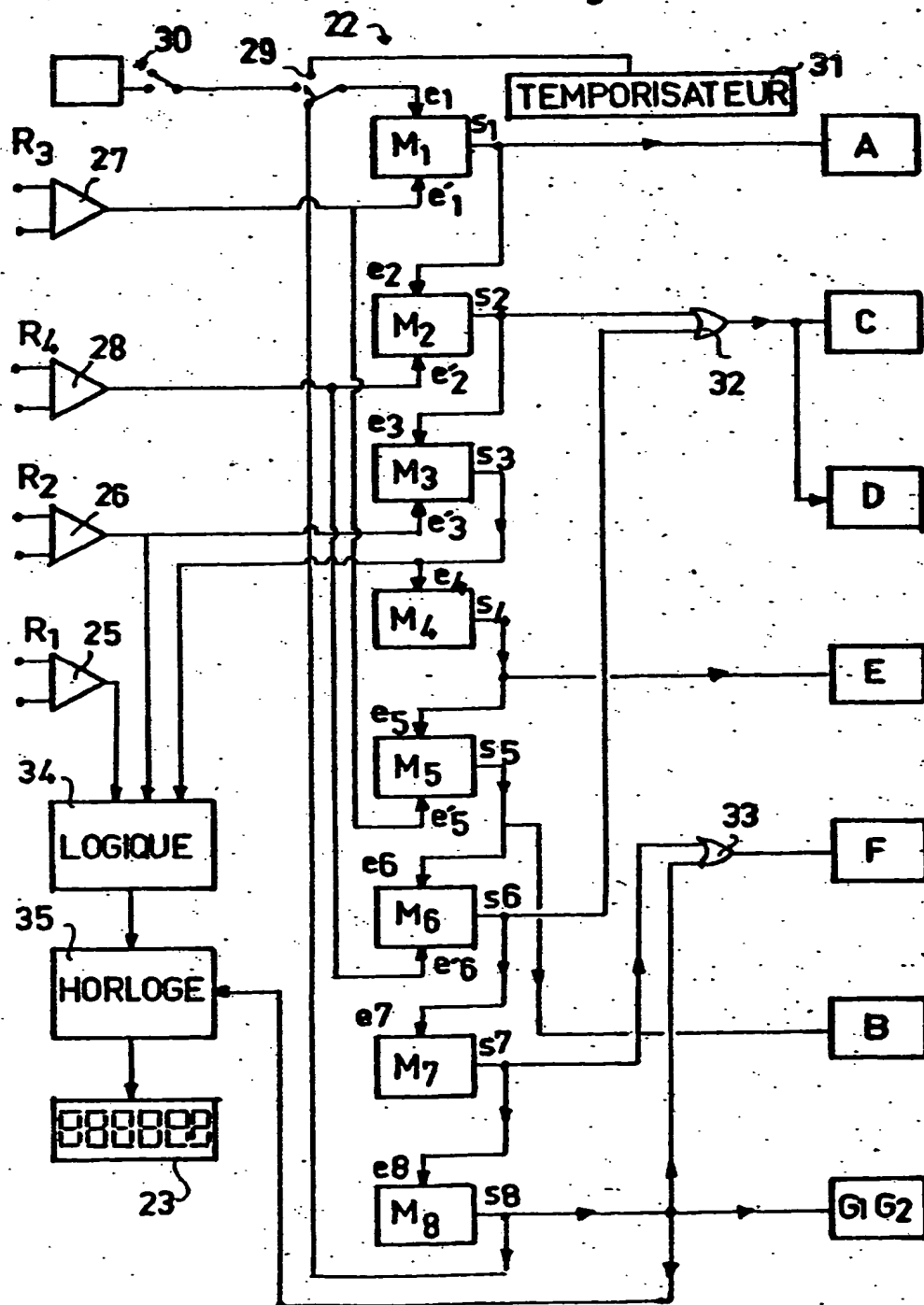


Fig. 5

4/4

Phases	Séquences	A	B	C	D	E	F	G	Fin de séquence
Rempl. liquide	Admission	0	F	F	0	F	F	G <sub>1</sub>	Fermeture A par R <sub>3</sub>
	Ascension	F	F	0	F	F	F	G <sub>1</sub>	Fermeture C par R <sub>4</sub>
Mesure	Mesure	F	F	F	0	F	F	G <sub>1</sub>	Fin de mesure R <sub>2</sub>
Rincage	Reinjection	F	F	F	0	0	F	G <sub>1</sub>	Temporisée
	Admission	F	0	F	0	F	F	G <sub>1</sub>	Fermeture A par R <sub>3</sub>
	Ascension	F	F	0	F	F	F	G <sub>1</sub>	Fermeture C par R <sub>4</sub>
	Evacuation	F	F	F	0	F	0	G <sub>1</sub>	Temporisée
Séchage	Séchage	F	F	F	0	F	0	G <sub>2</sub>	Temporisée

Fig. 6a

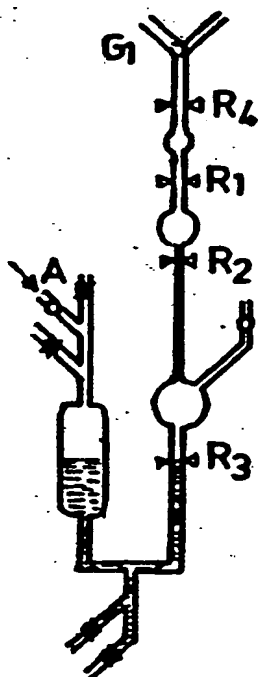


Fig. 6b

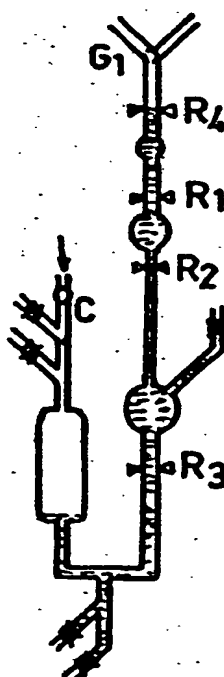


Fig. 6c

